

Medida de Componentes Pasivos en Criogenia

David Ortiz, Enrique Villa, Juan Luís Cano, Luisa de la Fuente, Eduardo Artal
ortizgd@unican.es, villae@unican.es, juanluis.cano@unican.es, fuerterm@unican.es, artale@unican.es
Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.
Plaza de la Ciencia s/n, 39005, Santander, Cantabria

Abstract- This paper describes the measurement system used at Universidad de Cantabria (UC) to test passive surface mount devices performance under cryogenic temperatures. These devices are used in the DC bias networks of cryogenic low noise amplifiers. The system enables the evaluation of these components from room temperature (about 300 K) to 30 K approximately. Their behaviour was tested at low frequencies, in the range from 20 Hz to 2 MHz. Capacitors based on high dielectric constant materials show a strong dependence on temperature conditions. They show a really big decrease of their capacitance when they are cooled down to cryogenic temperatures. On the other hand, low dielectric constant capacitors and thin-film resistors present low variation with temperature.

I. INTRODUCCIÓN

Los amplificadores de muy bajo ruido enfriados criogénicamente se utilizan en aplicaciones de radioastronomía [1], [2], formando las primeras etapas de estos receptores de microondas.

El diseño de estos circuitos a temperaturas criogénicas viene siendo una tarea complicada, ya que para su desarrollo se hace uso de diferentes componentes que no están validados para trabajar en estos rangos de temperatura. En muchas ocasiones la falta de información acerca del margen de temperaturas de funcionamiento de los componentes, derivan en un incorrecto comportamiento del circuito diseñado, debido a su gran variación al trabajar a temperaturas cercanas a las decenas de kelvin [3], [4].

Dentro de un proyecto de colaboración entre el Departamento de Ingeniería de Comunicaciones (DICOM) de la Universidad de Cantabria y el Centro Astronómico de Yebes (CAY), para el diseño de amplificadores de muy bajo ruido, se ha realizado en el DICOM una campaña de medidas en criogenia de componentes pasivos de montaje superficial, condensadores y resistencias, que forman parte de las redes de polarización de continua de estos amplificadores.

A continuación se describe tanto el sistema de medida como los resultados obtenidos. El objetivo final es saber si el componente estudiado es apto o no para trabajar a temperaturas criogénicas.

II. SISTEMA DE MEDIDA

El sistema de medida utilizado se basa en un instrumento de medida de impedancias de componentes LCR, en baja frecuencia, y de un criostato. El proceso de medida está automatizado y consta de los siguientes elementos:

Una aplicación software, desarrollada en MatLab®, para automatizar las medidas de los diferentes componentes a las temperaturas que desee el usuario. Además de ver los resultados de las medidas, es posible guardarlos en un fichero de texto, para su posterior uso en cualquier otra aplicación software.

Una placa de circuito impreso (PCB) sobre la cual se montan los componentes a medir, fabricada con sustrato de fibra de vidrio (FR4) de 1.5 mm de grosor. En la placa se montan conectores coaxiales SMA, para la calibración del sistema y las medidas posteriores. El aspecto de esta placa puede observarse en la Fig. 1.

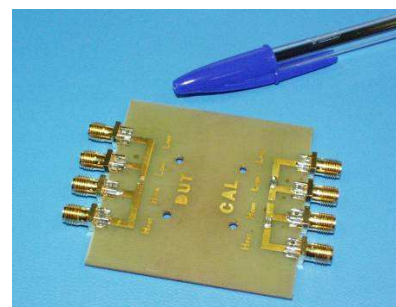


Fig. 1. Placa PCB para calibración y medidas de los distintos componentes

El sistema de criogenia, basado en un criostato modelo DE-210AE de *Advanced Research Systems* (ARS), permite colocar la placa PCB sobre la que está montado el componente. Con el sistema de anclaje térmico utilizado, el componente puede alcanzar temperaturas en torno a los 30 K. Se puede observar en la Fig. 2 el anclaje de los cables de acceso a dicha placa a la base fría del criostato, para tratar de conseguir la temperatura más baja posible en la placa PCB.

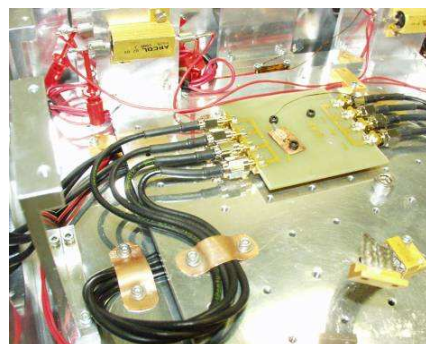


Fig. 2. Anclaje del PCB a la base fría del criostato

Un controlador de temperatura, modelo Lakeshore 340, equipado con sensores térmicos, que permite medir las temperaturas dentro del criostato (base fría y PCB).

El instrumento de medida utilizado es el “Precision LCR Meter” E4980A de Agilent Technologies. Este equipo realiza medidas de impedancias desde 20 Hz hasta 2 MHz. El método de medida de este instrumento se basa en el uso de cuatro cables idénticos, para corregir mediante calibración los efectos de los cables y de las conexiones al dispositivo.

Estos dos últimos instrumentos se controlan por medio del bus GPIB, utilizando la aplicación software citada. El sistema completo de medida se muestra en la Fig. 3

Fig. 3.

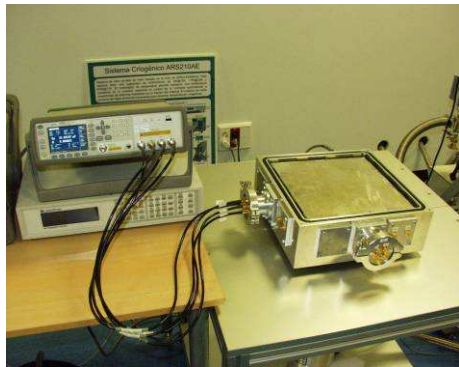


Fig. 3 Sistema de medida de los componentes pasivos en criogenia

III. MEDIDAS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS COMPONENTES

Con el sistema de medida descrito anteriormente, se estudia el comportamiento a temperatura ambiente y en cada uno de los puntos de temperatura que desee el usuario. El programa software realiza las medidas en siete puntos frecuenciales diferentes y el usuario visualiza los resultados en las frecuencias que desee.

Todas las medidas se han realizado con el mismo tipo de calibración, consistente en usar cables de 1 metro de longitud y un circuito abierto (OPEN) como carga de referencia. De esta manera, tras la calibración, se descuenta el efecto que introducen los cables en la medida.

Los componentes medidos forman típicamente parte de las redes de polarización de continua de amplificadores que se están diseñando. En este caso se ha estudiado el comportamiento de tres condensadores, una red de choque del tipo RF-Block y una resistencia de capa fina (Thin-film). Los resultados obtenidos se muestran en los siguientes apartados.

En todas las gráficas de las medidas en función de la temperatura, los valores representados se corresponden con las medidas obtenidas a la frecuencia de 1 kHz.

A. Condensador 22 pF de Siemens (B37940 K 5 220 J 0 60)

Se trata de un condensador multicapa, tipo SMD, con 22 pF de valor nominal de capacidad. Dicho componente posee una constante dieléctrica baja, ubicada dentro de los dieléctricos clase 1 (constante dieléctrica < 200). La Fig. 4 muestra los resultados de las medidas realizadas sobre este componente.

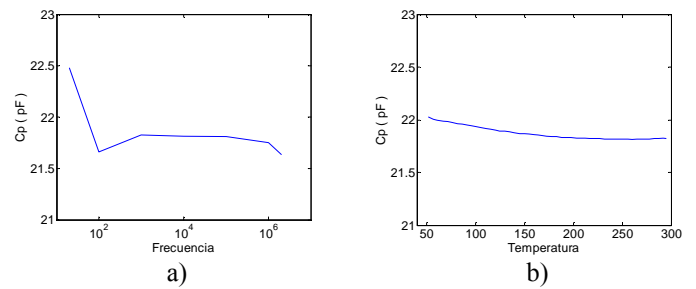


Fig. 4. Medida del condensador de 22 pF de Siemens. a) A temperatura ambiente; b) En función de la temperatura (a la frecuencia de 1 kHz)

Se comprueba con estas medidas que, debido al material dieléctrico con el que está construido este condensador (clase 1), el valor de la capacidad apenas varía a temperaturas criogénicas.

B. Condensador 22 pF de ATC (118 D F 220 k 100 Tx)

Para el caso de esta medida se eligió un condensador de una capa (single layer) de la serie ATC 118, con un valor nominal de 22 pF y una constante dieléctrica de valor 2000.

La Fig. 5 muestra un detalle del montaje del condensador sobre la placa PCB donde se realizan las medidas de los distintos componentes.

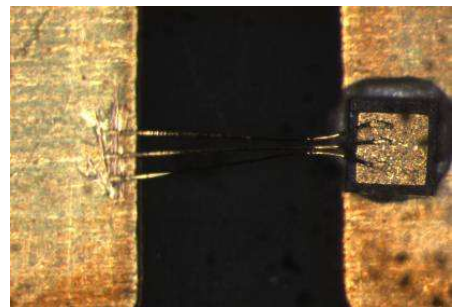


Fig. 5 Detalle de montaje del condensador en el útil de medida.

Se realizan de nuevo las medidas tanto a temperatura ambiente como en frío y se obtienen los resultados mostrados en la Fig. 6.

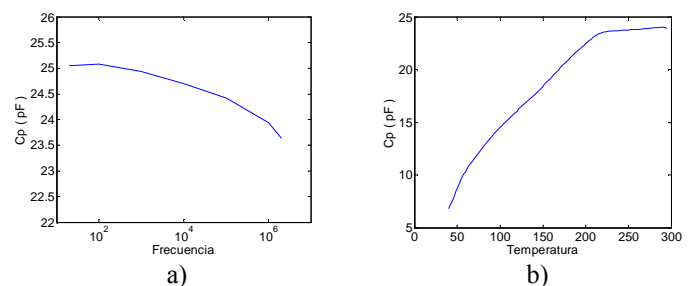


Fig. 6. Medida del condensador de 22 pF de ATC 118. a) A temperatura ambiente; b) En función de la temperatura (a la frecuencia de 1 kHz)

Como puede verse en la Fig. 6 b), el valor capacitivo de este componente disminuye mucho al ser enfriado, factor que ha de tenerse en cuenta cuando este componente vaya a utilizarse a temperaturas criogénicas.

C. Condensador 100 pF de ATC (118 C L 101 M 100 TT)

Para este caso se escogió de nuevo un condensador de una capa (single layer) de la serie ATC 118, de valor nominal 100 pF y con una constante dieléctrica es bastante mayor que la del anterior, siendo su valor de 16000. El montaje del componente en la placa PCB se muestra en la Fig. 7.

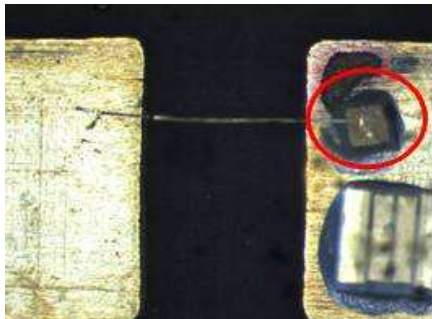


Fig. 7. Montaje del condensador de 100 pF de ATC 118 en el PCB (rodeado de color rojo)

En la Fig. 8 se muestra el resultado de las medidas. Al igual que sucedió con el condensador anterior, al poseer un dieléctrico con una constante de valor alto (16000), el valor de su capacidad disminuye mucho cuando desciende la temperatura.

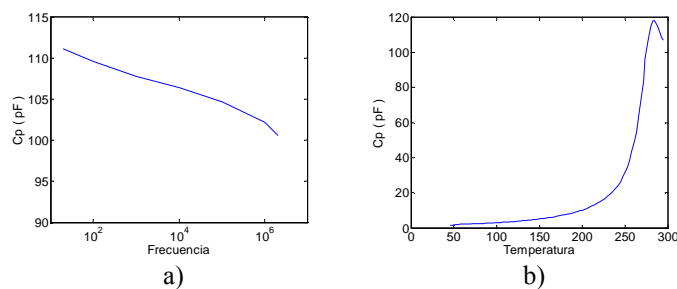


Fig. 8. Medida del condensador de 100 pF de ATC 118. a) A temperatura ambiente; b) En función de la temperatura (a la frecuencia de 1 kHz)

D. RF block DILAB (J 30 BH BA02 2 L X 2)

Un componente que se emplea muy frecuentemente en las redes de polarización de transistores o de circuitos en tecnología MMIC es el “RF Block” de Dielectric Laboratories (DILAB). Es básicamente una red RC cuyo esquema circuital, obtenido de las hojas de características del fabricante, se muestra en la Fig. 9. Para el montaje se ha conectado solamente un terminal del componente, dejando el otro en circuito abierto. De esta forma, se ha medido únicamente uno de los segmentos disponibles en el RF Block.

De la hoja del fabricante se observa que este componente posee una capacidad nominal de 38 pF (medida a 1 MHz) y una resistencia nominal de valor 10 Ohm. El fabricante no proporciona datos sobre el material del que está elaborado, ni su constante dieléctrica.

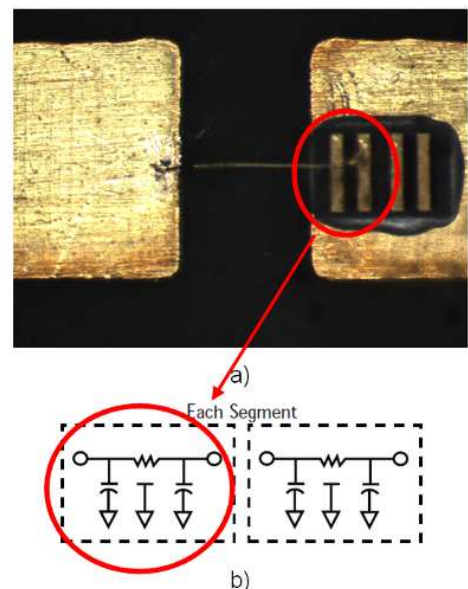


Fig. 9. a) Montaje del RF Block en el útil de medida; b) Esquema circuital

La Fig. 10 muestra los resultados de las medidas realizadas sobre el componente, de nuevo enfriando desde temperatura ambiente.

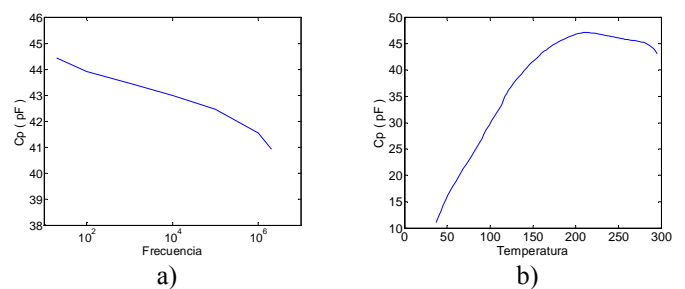


Fig. 10. Medidas de capacidad del RF Block a) A temperatura ambiente; b) En función de la temperatura (a la frecuencia de 1 kHz)

Al igual que ha sucedido con los condensadores de ATC descritos en los apartados B y C, la capacidad de este RF Block también disminuye al bajar la temperatura de trabajo.

E. Resistencia SOTA (S0303DA10RFEW)

Se ha caracterizado una resistencia de tipo “Thin-film” del fabricante State of The Art (SOTA) de montaje superficial de tamaño 0303. Este tipo de resistencia se ha utilizado en redes de polarización de amplificadores de bajo ruido, en el Departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la Universidad de Cantabria. Su resistencia nominal es de 10 Ohm.

La Fig. 11 muestra el detalle del montaje de esta resistencia, rodeada de color rojo, en el útil de medida diseñado.

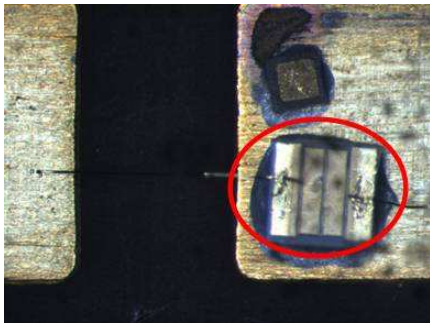


Fig. 11 Detalle del montaje de la resistencia en el útil de medida.

El resultado de medidas de este componente se muestra en la

Fig. 12 Fig. 12.

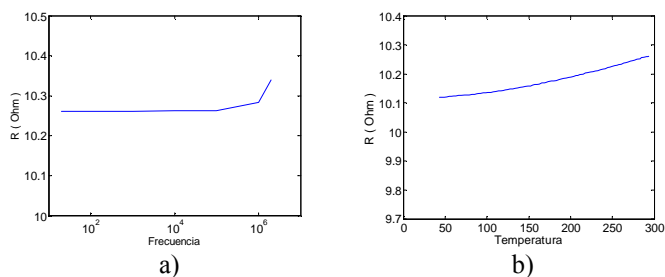


Fig. 12. Medidas de la resistencia Thin-film 0303 de SOTA. a) A temperatura ambiente. b) En función de la temperatura (a la frecuencia de 1 kHz).

Se comprueba que el valor resistivo del mismo no varía apenas al bajar la temperatura.

IV. CONCLUSIONES

Se ha descrito un sistema de medida para caracterizar diferentes componentes pasivos tanto a temperatura ambiente como a temperaturas criogénicas.

Se ha comprobado que en los condensadores con alta constante dieléctrica, el valor de la capacidad disminuye notablemente cuando se trabaja a temperaturas criogénicas. De la medida de un condensador con constante dieléctrica baja se observa que no presenta ese comportamiento, conservando el valor de capacidad en el rango de temperaturas.

Por otra parte, para el caso de una resistencia de tipo capa fina (Thin-film) se ha comprobado que su valor no varía con la temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro Astronómico de Yebes la información suministrada sobre los criostatos y las medidas de componentes pasivos en criogenia. Este trabajo se ha realizado con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, a través del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica, proyecto de referencia AYA2007-68058-C03-03. La fabricación de la placa PCB y el montaje de los componentes han sido realizados por Alexandrina Pana y Eva Cuerno.

REFERENCIAS

- [1] P. Kangaslahti, T. Gaier, M. Seiffert, S. Weinreb, D. Harding, D. Dawson, M. Soria, C. Lawrence, B. Hooberman, A. Miller, "Planar Polarimetry Receivers for Large Imaging Arrays at Q-band", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest 2006*, pp. 89-92, Junio 2006
- [2] J.M. Tanskanen, P. Kangaslahti, H. Ahtola, P. Jukkala, T. Karttaavi, M. Lahdes, J. Varis, J. Tuovinen, "Cryogenic Indium-Phosphide HEMT Low-Noise Amplifiers at V-band", *IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques*, Vol. 48, Issue 7, Part 2, Julio 2000
- [3] R.L. Patterson, A. Hammoud, S.S. Gerber, "Evaluation of capacitors at cryogenic temperatures for space applications", *Conference record of the 1998 IEEE international symposium on electrical insulation*, pp 468-471 Junio 1998
- [4] P. Ming-Jen, "Performance of capacitors under DC Bias at liquid nitrogen temperature", *US Naval Research Laboratory*, Marzo 2005.